

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah

Limbah adalah bahan buangan tidak terpakai yang berdampak negatif terhadap masyarakat jika tidak dikelola dengan baik. Beberapa pengertian tentang limbah:

1. Berdasarkan keputusan Menperindag RI No. 231/MPP/Kep/7/1997 Pasal I tentang prosedur impor limbah, menyatakan bahwa Limbah adalah bahan/barang sisa atau bekas dari suatu kegiatan atau proses produksi yang fungsinya sudah berubah dari aslinya.
2. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 18/1999 Jo.PP 85/1999 Limbah didefinisikan sebagai sisa atau buangan dari suatu usaha dan/atau kegiatan manusia.

2.1.1 Limbah Cair

Limbah cair atau buangan merupakan air yang tidak dapat dimanfaatkan lagi serta dapat menimbulkan dampak yang buruk terhadap manusia dan lingkungan. Keberadaan limbah cair tidak diharapkan di lingkungan karena tidak mempunyai nilai ekonomi. Pengolahan yang tepat bagi limbah cair sangat diutamakan agar tidak mencemari lingkungan (Mardana, 2007).

2.1.2 Karakteristik Limbah Cair

Limbah cair baik domestik maupun non domestik mempunyai beberapa karakteristik sesuai dengan sumbernya, dimana karakteristik limbah cair dapat digolongkan pada karakteristik fisik, kimia, dan biologi sebagai berikut (Eddy, 2008).

1. Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik air limbah yang perlu diketahui adalah *total solid*, bau, temperatur, densitas, warna, konduktivitas, dan *turbidity*.

a. Total Solid

Total solid adalah semua materi yang tersisa setelah proses evaporasi pada suhu 103°C–105°C. Karakteristik yang bersumber dari saluran air domestik, industri, erosi tanah, dan infiltrasi ini dapat menyebabkan bangunan pengolahan penuh dengan *sludge* dan kondisi anaerob dapat tercipta sehingga mengganggu proses pengolahan.

b. Bau

Karakteristik ini bersumber dari gas-gas yang dihasilkan selama dekomposisi bahan organik dari air limbah atau karena penambahan suatu substrat ke air limbah.

c. Temperatur

Temperatur ini mempengaruhi konsentrasi oksigen terlarut di dalam air. Air yang baik mempunyai temperatur normal 8°C dari suhu kamar 27°C. Semakin tinggi temperatur air (>27°C) maka kandungan oksigen dalam air berkurang atau sebaliknya.

d. Density

Density adalah perbandingan antara massa dengan volume yang dinyatakan sebagai *slug/ft³* (kg/m³).

e. Warna

Air limbah yang berwarna banyak menyerap oksigen dalam air, sehingga dalam waktu lama akan membuat air berwarna hitam dan berbau.

f. Kekeruhan

Kekeruhan diukur dengan perbandingan antara intensitas cahaya yang dipendarkan oleh sampel air limbah dengan cahaya yang dipendarkan oleh suspensi standar pada konsentrasi yang sama (Eddy, 2008).

2. Karakteristik Kimia

Pada air limbah ada tiga karakteristik kimia yang perlu diidentifikasi yaitu bahan organik, anorganik, dan gas.

a. Bahan organik

Pada air limbah bahan organik bersumber dari hewan, tumbuhan, dan aktivitas manusia. Bahan organik itu sendiri terdiri dari C, H, O, N, yang menjadi karakteristik kimia adalah protein, karbohidrat, lemak dan minyak, surfaktan, pestisida dan fenol, dimana sumbernya adalah limbah domestik, komersil, industri kecuali pestisida yang bersumber dari pertanian.

b. Bahan anorganik

Jumlah bahan anorganik dipengaruhi oleh asal air limbah. Pada umumnya berupa senyawa-senyawa yang mengandung logam berat (Fe, Cu, Pb, dan Mn), asam kuat dan basa kuat, senyawa fosfat senyawa-senyawa nitrogen (amoniak, nitrit, dan nitrat), dan juga senyawa-senyawa belerang (sulfat dan hidrogen sulfida).

c. Gas

Gas yang umumnya ditemukan dalam limbah cair yang tidak diolah adalah nitrogen (N_2), oksigen (O_2), metana (CH_4), hidrogen sulfida (H_2S), amoniak (NH_3), dan karbondioksida (Eddy, 2008).

3. Karakteristik Biologi

Pada air limbah, karakteristik biologi menjadi dasar untuk mengontrol timbulnya penyakit yang dikarenakan organisme pathogen. Karakteristik biologi tersebut seperti bakteri dan mikroorganisme lainnya yang terdapat dalam dekomposisi dan stabilisasi senyawa organik (Eddy, 2008).

2.1.3 Sumber Limbah Cair

Sumber air limbah dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu:

1. Air limbah domestik atau rumah tangga

Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 112 tahun 2003, limbah cair domestik adalah limbah cair yang berasal dari usaha dan atau kegiatan pemukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen, dan asrama. Air limbah domestik mengandung berbagai bahan, yaitu kotoran, *urine*, dan air bekas cucian yang mengandung detergen, bakteri, dan virus (Eddy, 2008).

2. Air limbah industri

Air yang dihasilkan oleh industri, baik akibat proses pembuatan atau produksi yang dihasilkan industri tersebut maupun proses lainnya (Darmono, 2001). Limbah non domestik adalah limbah yang berasal dari pabrik, industri, pertanian, peternakan, perikanan, transportasi, dan sumber-sumber lain (Eddy, 2008).

3. Infiltrasi

Infiltrasi adalah masuknya air tanah ke dalam saluran air buangan melalui sambungan pipa, pipa bocor, atau dinding *manhole*, sedangkan *inflow* adalah masuknya aliran air permukaan melalui tutup *manhole*, atap, area drainase, *cross connection* saluran air hujan maupun air buangan (Eddy, 2008).

2.1.4 Dampak Limbah Cair

Limbah organik mengandung sisa-sisa bahan organik, detergen, minyak dan kotoran manusia. Limbah ini dalam skala kecil tidak akan terlalu mengganggu, akan tetapi dalam jumlah besar sangat merugikan. Dampak negatif yang dapat ditimbulkan limbah cair adalah sebagai berikut:

1. Gangguan terhadap kesehatan manusia

Gangguan terhadap kesehatan manusia dapat disebabkan oleh kandungan bakteri, virus, senyawa nitrat, beberapa bahan kimia dari industri dan jenis pestisida yang terdapat dari rantai makanan, serta beberapa kandungan logam seperti merkuri, timbal, dan kadmium (Eddy, 2008).

2. Gangguan terhadap keseimbangan ekosistem

Kerusakan terhadap tanaman dan binatang yang hidup pada perairan disebabkan oleh eutrofikasi yaitu pencemaran air yang disebabkan oleh munculnya nutrient yang berlebihan ke dalam ekosistem air, air dikatakan eutrofik jika konsentrasi total phosphorus (TP) dalam air berada dalam rentang 35-100 µg/L dan pertumbuhan tanaman yang berlebihan (Eddy, 2008).

3. Gangguan terhadap estetika dan benda

Gangguan kenyamanan dan estetika berupa warna, bau, dan rasa. Kerusakan benda yang disebabkan oleh garam-garam terlarut seperti korosif atau karat, air

berlumpur, menyebabkan menurunnya kualitas tempat-tempat rekreasi dan perumahan akibat bau serta eutrofikasi (Eddy, 2008).

2.2 Limbah Cair Tahu

Limbah tahu berasal dari buangan atau sisa pengolahan kedelai menjadi tahu yang terbuang karena tidak terbentuk dengan baik menjadi tahu sehingga tidak dapat dikonsumsi. Limbah tahu terdiri atas dua jenis yaitu limbah cair dan limbah padat. Limbah cair merupakan bagian terbesar dan berpotensi mencemari lingkungan. Limbah ini terjadi karena adanya sisa air tahu yang tidak menggumpal, potongan tahu yang hancur karena proses penggumpalan yang tidak sempurna serta cairan keruh kekuningan yang dapat menimbulkan bau tidak sedap bila dibiarkan (Nohong, 2010).

Limbah industri tahu pada umumnya dibagi menjadi dua bentuk limbah, yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat pabrik pengolahan tahu berupa kotoran hasil pembersihan kedelai (batu, tanah, kulit kedelai, dan benda padat lain yang menempel pada kedelai) dan sisa saringan bubur kedelai yang disebut dengan ampas tahu. Limbah padat yang berupa kotoran berasal dari proses awal (pencucian) bahan baku kedelai dan umumnya limbah padat yang terjadi tidak begitu banyak (0,3% dari bahan baku kedelai), sedangkan limbah padat yang berupa ampas tahu terjadi pada proses penyaringan bubur kedelai. Ampas tahu yang terbentuk besarnya berkisar antara 25-35% dari produk tahu yang dihasilkan (Kaswinarni, 2007).

Limbah cair pada proses produksi tahu berasal dari proses perendaman, pencucian kedelai, pencucian peralatan proses produksi tahu, penyaringan dan pengepresan atau pencetakan tahu. Sebagian besar limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut dengan air dadih (*whey*). Cairan ini mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai. Limbah ini sering dibuang secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga menghasilkan bau busuk dan mencemari lingkungan (Kaswinarni, 2007).

2.2.1 Kandungan Limbah Cair Tahu

Limbah cair industri tahu mengandung bahan-bahan organik yang tinggi terutama protein dan asam-asam amino. Adanya senyawa-senyawa organik tersebut menyebabkan limbah cair industri tahu mengandung BOD, COD, dan TSS yang tinggi (Husin, 2008).

Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam limbah industri cair tahu pada umumnya sangat tinggi. Senyawa-senyawa organik tersebut dapat berupa protein, karbohidrat dan lemak. Senyawa protein memiliki jumlah yang paling besar yaitu mencapai 40%-60%, karbohidrat 25%-50%, dan lemak 10%. Bertambah lama bahan-bahan organik dalam limbah cair tahu, maka volumenya semakin meningkat (Sugiharto, 2006).

Gas-gas yang biasa ditemukan dalam limbah cair tahu adalah oksigen (O_2), hidrogen sulfida (H_2S), amoniak (NH_3), karbondioksida (CO_2), dan metana (CH_4). Gas-gas tersebut berasal dari dekomposisi bahan-bahan organik yang terdapat dalam limbah cair tersebut (Herlambang, 2005).

Senyawa organik yang berada pada limbah adalah senyawa yang dapat diuraikan secara sempurna melalui proses biologi baik aerob maupun anaerob, sedangkan senyawa anorganik pada limbah adalah senyawa yang tidak dapat diuraikan melalui proses biologi (Nurullatifah, 2011).

Limbah cair tahu mengandung bahan organik berupa protein yang dapat terdegradasi menjadi bahan anorganik. Degradasi bahan organik melalui proses oksidasi secara aerob akan menghasilkan senyawa-senyawa yang lebih stabil. Dekomposisi bahan organik pada dasarnya melalui dua tahap yaitu bahan organik diuraikan menjadi bahan anorganik. bahan anorganik yang tidak stabil mengalami oksidasi menjadi bahan anorganik yang stabil, misalnya amoniak mengalami oksidasi menjadi nitrit dan nitrat (Effendi, 2010).

2.2.2 Karakteristik Limbah Cair Tahu

Limbah cair industri tahu merupakan salah satu sumber pencemaran lingkungan. Karakteristik air buangan yang dihasilkan berbeda karena berasal dari proses yang berbeda. Karakteristik buangan industri tahu meliputi dua hal, yaitu

karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik limbah cair industri tahu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik limbah cair tahu

Parameter	Satuan	Baku Mutu (*)
pH	-	5-9
BOD ₅	mg/L	50
COD	mg/L	100
NTK	mg NH ₃ -N/L	20
Amoniak	mg NH ₃ -N/L	30
Nitrat	mg/L	20
Total Phospat	mg PO ₄ ³⁻ - P/L	5
TSS	mg/L	400
Fe	mg/L	5

Sumber: (*) Baku Mutu PP No. 82 Tahun 2001 golongan IV

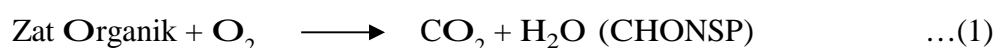
Beberapa karakteristik limbah cair industri tahu yang penting antara lain:

a. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) merupakan parameter untuk menilai jumlah zat organik yang terlarut serta menunjukkan jumlah oksigen yang diperlukan oleh aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan zat organik secara biologis di dalam limbah cair. Limbah cair industri tahu mengandung bahan-bahan organik terlarut yang tinggi (Wardana, 2004).

Nilai BOD yang tinggi menunjukkan terdapat banyak senyawa organik dalam limbah, sehingga banyak oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik. Nilai BOD yang rendah menunjukkan terjadinya penguraian limbah organik oleh mikroorganisme (Zulkifli dan Ami, 2007).

Penguraian bahan organik secara biologis oleh mikroorganisme menyangkut reaksi oksidasi dengan hasil akhir karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O). Proses penguraian bahan organik dapat digambarkan sebagai berikut (Hanum, 2006):

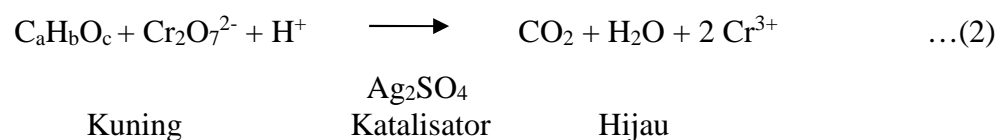


Pengujian BOD menggunakan metode Winkler-Alkali iodide azida adalah penetapan BOD yang dilakukan dengan cara mengukur berkurangnya kadar

oksigen terlarut dalam sampel yang disimpan dalam botol tertutup rapat, diinkubasi selama 5 hari pada temperatur kamar, kemudian diukur oksigen terlarutnya. Botol yang tersisa diukur oksigen terlarutnya pada hari ke nol dengan menambahkan 1 ml MnSO_4 + 1 ml reagen alkali iodida azida + 1 ml H_2SO_4 pekat. Setelah itu ditambah 3 tetes amilum dan dititrasi dengan larutan natrium thiosulfat. Selanjutnya dilakukan perhitungan BOD dan penurunan BOD limbah tahu sebelum dan sesudah perlakuan. Dalam waktu 5 hari (BOD_5), oksidasi organik karbon akan mencapai 60%-70% dan dalam waktu 20 hari akan mencapai 95% (Butler, 2011).

b. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam satu liter sampel air, dimana pengoksidanya adalah $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ atau KMnO_4 . Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air. Sebagian besar zat organik melalui uji COD ini dioksidasi oleh $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dalam keadaan asam yang mendidih optimum.



Nilai COD akan selalu lebih besar daripada BOD karena kebanyakan senyawa lebih mudah teroksidasi secara kimia daripada secara biologi. Pengukuran COD membutuhkan waktu yang jauh lebih cepat, yakni dapat dilakukan selama 3 jam, jika nilai antara BOD dan COD sudah diketahui, kondisi limbah cair tahu dapat diketahui (Faiqun, 2007).

c. TSS (*Total Suspended Solid*)

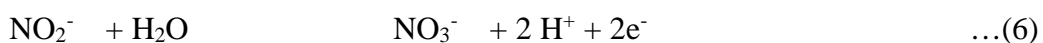
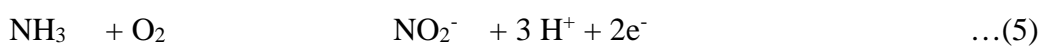
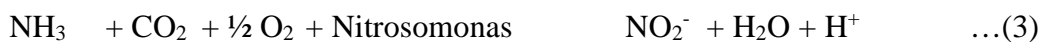
TSS yaitu bahan-bahan yang melayang dan tidak larut dalam air. Padatan tersuspensi sangat berhubungan erat dengan tingkat kekeruhan air. Kekeruhan menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan

banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat di dalam air. Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dan terlarut. Semakin tinggi kandungan bahan tersuspensi tersebut, maka air semakin keruh (Effendi, 2008).

d. $\text{NH}_3\text{-N}$

$\text{NH}_3\text{-N}$ yaitu campuran senyawa kompleks antara lain asam-asam amino, gula amino, dan protein (polimer asam amino). Amoniak (NH_3) merupakan senyawa alkali yang berupa gas tidak berwarna dan dapat larut dalam air. Pada kadar di bawah 1 ppm dapat terdeteksi bau yang sangat menyengat. Kadar NH_3 yang tinggi dalam air selalu menunjukkan adanya pencemaran. Amoniak bebas (NH_3) yang tidak terionisasi bersifat toksik terhadap organisme akuatik. Toksisitas amoniak terhadap organisme akuatik akan meningkat jika terjadi penurunan kadar oksigen terlarut, pH, dan suhu (Effendi, 2003). Pada lingkungan asam atau netral, NH_3 ada dalam bentuk ion NH_4^+ . Pada lingkungan basa, NH_3 akan dilepas ke atmosfer (Sataresmi, 2008).

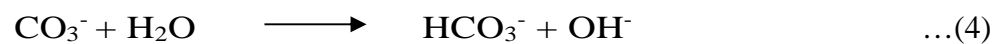
Reaksi proses nitrifikasi:



e. Derajat Keasaman (pH)

Air limbah industri tahu sifatnya cenderung asam, pada keadaan asam ini akan terlepas zat-zat yang mudah untuk menguap. Hal ini mengakibatkan limbah cair industri tahu mengeluarkan bau busuk. pH sangat berpengaruh dalam proses pengolahan air limbah. Baku mutu yang ditetapkan sebesar 5-9. Pengaruh yang terjadi apabila pH terlalu rendah adalah penurunan oksigen terlarut. Oleh karena itu, sebelum limbah diolah diperlukan pemeriksaan pH serta menambahkan larutan penyangga agar dicapai pH yang optimal (Herlambang, 2007).

Nilai pH merupakan faktor pengontrol yang menentukan kemampuan biologis mikroalga dalam memanfaatkan unsur hara. Nilai pH yang terlalu tinggi misalnya, akan mengurangi aktivitas fotosintesis mikroalga. Proses fotosintesis merupakan proses mengambil CO_2 yang terlarut di dalam air, dan berakibat pada penurunan CO_2 terlarut dalam air. Penurunan CO_2 akan meningkatkan pH. Dalam keadaan basa ion bikarbonat akan membentuk ion karbonat dan melepaskan ion hidrogen yang bersifat asam sehingga keadaan menjadi netral. Sebaliknya dalam keadaan terlalu asam, ion karbonat akan mengalami hidrolisa menjadi ion bikarbonat dan melepaskan ion hidrogen oksida yang bersifat basa, sehingga keadaan netral kembali, dapat dilihat pada reaksi berikut (Lavens dan Sorgeloos, 2006):



f. Kadar Logam Fe

Besi adalah salah satu elemen kimiawi yang dapat ditemui pada hampir setiap tempat di bumi, pada semua lapisan geologis, dan semua badan air.

Pada umumnya, besi yang ada di dalam air dapat bersifat:

1. Terlarut sebagai Fe^{2+} (ferro) atau Fe^{3+} (ferri),
2. Tersuspensi sebagai butiran koloidal (diameter <1 mikrometer) atau lebih besar, seperti Fe_2O_3 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, dan sebagainya,
3. Tergabung dengan zat organik atau zat padat yang anorganik (Pahlevi, 2009).

2.2.3 Dampak Limbah Cair Tahu

Dampak yang ditimbulkan oleh pencemaran bahan organik limbah cair industri tahu adalah gangguan terhadap kehidupan biotik yaitu lingkungan yang terdiri dari makhluk hidup misalnya tumbuhan, hewan, dan manusia, turunnya kualitas air perairan akibat meningkatnya kandungan bahan organik. Aktivitas organisme dapat memecah molekul organik yang kompleks menjadi molekul organik yang sederhana. Bahan anorganik seperti fosfat dan nitrat dapat dipakai sebagai bahan makanan tumbuhan yang melakukan fotosintesis. Selama proses

metabolisme oksigen banyak dikonsumsi, sehingga apabila bahan organik dalam air sedikit, oksigen yang hilang dalam air akan segera diganti oleh oksigen hasil fotosintesis dan oleh aerasi dari udara. Sebaliknya jika konsentrasi beban bahan organik terlalu tinggi, maka akan terjadi kondisi anaerobik yang menghasilkan dekomposisi produk amoniak, asam asetat, karbondioksida, hidrogen sulfida, dan metana. Senyawa-senyawa tersebut sangat toksik bagi sebagian besar hewan air dan akan menimbulkan gangguan keindahan yang berupa rasa tidak nyaman dan menimbulkan bau (Herlambang, 2008).

Limbah cair yang dihasilkan mengandung padatan tersuspensi maupun terlarut, akan mengalami perubahan fisika, kimia, dan hayati yang akan menimbulkan gangguan terhadap kesehatan karena menghasilkan zat beracun atau menciptakan media untuk tumbuhnya kuman penyakit atau kuman lainnya yang merugikan baik pada produk tahu sendiri ataupun tubuh manusia. Bila dibiarkan, air limbah akan berubah warnanya menjadi cokelat kehitaman dan berbau busuk yang disebabkan oleh proses pemecahan protein oleh mikroba sehingga timbul bau busuk dari gas H_2S . Bau busuk ini mengakibatkan sakit pernapasan. Apabila air limbah ini merembes ke dalam tanah yang dekat dengan sumur maka air sumur itu tidak dapat dimanfaatkan lagi. Apabila limbah ini dialirkan ke sungai maka akan mencemari sungai dan bila masih digunakan akan menimbulkan gangguan kesehatan yang berupa penyakit gatal, diare, kolera, radang usus dan penyakit lainnya (Kaswinarni, 2007).

2.3 Pengolahan Limbah Cair Tahu

Upaya untuk mengolah limbah cair tahu telah dicoba dan dikembangkan. Secara umum, metode pengolahan yang dikembangkan dapat digolongkan atas 3 jenis metode pengolahan, yaitu secara fisika, kimia, maupun biologis. Cara fisika, merupakan metode pemisahan sebagian dari beban pencemaran khususnya padatan tersuspensi atau koloid dari limbah cair dengan memanfaatkan gaya-gaya fisika. Dalam pengolahan limbah cair industri tahu secara fisika, proses yang dapat digunakan antara lain filtrasi dan pengendapan (sedimentasi). Filtrasi atau penyaringan menggunakan media penyaring terutama untuk menjernihkan atau

memisahkan partikel-partikel kasar dan padatan tersuspensi dari limbah cair. Dalam sedimentasi, flok-flok padatan dipisahkan dari aliran dengan memanfaatkan gaya gravitasi (Eddy, 2008).

Cara kimia, merupakan metode penghilangan atau konversi senyawa-senyawa polutan dalam limbah cair dengan penambahan bahan-bahan kimia atau reaksi kimia lainnya. Beberapa proses yang dapat diterapkan dalam pengolahan limbah cair industri tahu secara kimia di antaranya termasuk koagulasi-flokulasi dan netralisasi. Proses netralisasi biasanya diterapkan dengan cara penambahan asam atau basa guna menetralkan ion-ion yang terlarut dalam limbah cair sehingga memudahkan proses pengolahan selanjutnya (Eddy, 2008).

Proses koagulasi-flokulasi, partikel-partikel koloid hidrofobik cenderung menyerap ion-ion bermuatan negatif terlarut dalam limbah cair melalui sifat adsorpsi koloid tersebut, sehingga partikel tersebut bermuatan negatif. Koagulasi pada dasarnya merupakan proses destabilisasi partikel koloid bermuatan dengan cara penambahan ion-ion bermuatan berlawanan (koagulan) ke dalam koloid, dengan demikian partikel koloid menjadi netral dan dapat beraglomerasi satu sama lain membentuk mikroflok. Selanjutnya mikroflok-mikroflok yang telah terbentuk dengan dibantu pengadukan lambat mengalami penggabungan menghasilkan makroflok (flokulasi), sehingga dapat dipisahkan dari dalam larutan dengan cara pengendapan atau filtrasi (Nasrullah, 2012).

Koagulan yang biasa digunakan antara lain polielektrolit, aluminium, kapur, dan garam-garam besi. Masalah dalam pengolahan limbah secara kimiawi adalah banyaknya endapan lumpur yang dihasilkan, sehingga membutuhkan penanganan lebih lanjut (Eddy, 2008).

Selain kedua metode tersebut, metode gabungan fisika-kimia mencakup flokulasi yang dikombinasikan dengan sedimentasi juga telah dicoba digunakan dalam skala laboratorium, tetapi penerapan metode gabungan tersebut hasilnya kurang memuaskan khususnya di Indonesia. Hal ini karena beberapa faktor antara lain: metode pengolahan fisika-kimia terlalu kompleks, kebutuhan bahan kimia cukup tinggi, serta lumpur berupa endapan sebagai hasil dari sedimentasi menjadi masalah penanganan lebih lanjut (Husin, 2008).

Cara biologi, dapat menurunkan kadar zat organik terlarut dengan memanfaatkan mikroorganisme atau tumbuhan air. Mikroorganisme yang digunakan untuk pengolahan limbah adalah bakteri, alga, atau protozoa (Ritman, 2010), sedangkan tumbuhan yang dapat digunakan termasuk gulma air (*aquatic weeds*) (Lisnasari, 2006).

Menurut Lisnasari (2006), melihat tingkat pengetahuan pengrajin tahu khususnya di Indonesia yang relatif minim dalam penanganan limbah dan faktor-faktor teknis lainnya, seperti biaya investasi dan operasi cukup tinggi, luas lahan yang diperlukan cukup besar, serta pengendalian proses yang relatif kompleks, sehingga penerapan metode ini khususnya di Indonesia kurang berdaya guna. Untuk mengatasi kendala-kendala tersebut, perlu dicari metode pengolahan limbah cair yang lebih sederhana, efektif, dan mudah dioperasikan.

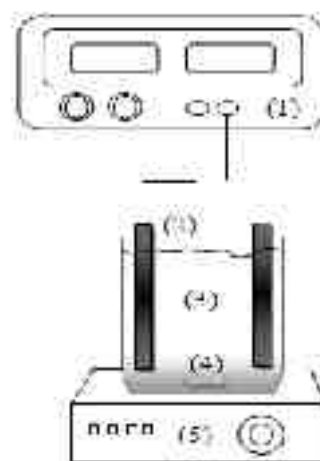
2.4 Elektrokoagulasi

2.4.1 Pengertian Elektrokoagulasi

Proses elektrokoagulasi merupakan gabungan dari proses elektrokimia dan proses koagulasi-flokulasi dan elektrokimia. Proses ini dapat menjadi pilihan pengolahan limbah B3 cair fase cair alternatif dari metode pengolahan yang lain (Retno, 2008).

Keterangan:

1. DC Power Supply
2. Elektroda Aluminium
3. Minyak Jelantah
4. Magnetic Stirrer
5. Hot Plate



Sumber: Holt, 2012

Gambar 1. Elektrokoagulasi sistem *batch*

Elektrokoagulasi merupakan metode pengolahan air secara elektrokimia dimana pada anoda terjadi pelepasan koagulan aktif berupa ion logam (biasanya aluminium atau besi) ke dalam larutan, sedangkan pada katoda terjadi reaksi elektrolisis berupa pelepasan gas hidrogen (Holt, 2012). Menurut Mollah (2008), elektrokoagulasi adalah proses kompleks yang melibatkan fenomena kimia dan fisika dengan menggunakan elektroda untuk menghasilkan ion yang digunakan untuk mengolah air limbah.

Koagulasi dapat diperoleh dengan cara kimia maupun listrik. Koagulasi kimiawi sekarang ini menjadi kurang diminati karena biaya pengolahan yang tinggi, menghasilkan volume lumpur yang besar, pengelompokan logam hidroksida sebagai limbah berbahaya, dan biaya untuk bahan kimia yang membantu koagulasi.

Koagulasi kimiawi telah digunakan selama puluhan tahun untuk mendestabilisasi suspensi dan untuk membantu pengendapan spesies logam yang terlarut. *Alum*, *lime*, dan/atau polimer-polimer lain adalah koagulan-koagulan kimia yang sering digunakan. Proses ini, bagaimanapun, cenderung menghasilkan sejumlah besar lumpur dengan kandungan ikatan air yang tinggi yang dapat memperlambat proses filtrasi dan mempersulit proses penghilangan air (*dewater*). Proses ini juga cenderung meningkatkan kandungan TDS dalam *effluent*, sehingga menyebabkan proses ini tidak dapat digunakan dalam aplikasi industri (Woytowich, 2010).

Elektrokoagulasi seringkali dapat menetralkan muatan-muatan partikel dan ion, sehingga bisa mengendapkan kontaminan-kontaminan, menurunkan konsentrasi lebih rendah dari yang bisa dicapai dengan pengendapan kimiawi, dan dapat menggantikan dan/atau mengurangi penggunaan bahan-bahan kimia yang mahal (garam logam, polimer).

Meskipun mekanisme elektrokoagulasi mirip dengan koagulasi kimiawi dalam hal spesies kation yang berperan dalam netralisasi muatan-muatan permukaan, tetapi karakteristik flok yang dihasilkan oleh elektrokoagulasi berbeda secara dramatis dengan flok yang dihasilkan oleh koagulasi kimiawi.

Flok dari elektrokoagulasi cenderung mengandung sedikit ikatan air, lebih stabil dan lebih mudah disaring (Woytowich, 2010).

Saat ini penggunaan teknologi elektrokoagulasi dikembangkan untuk meningkatkan kualitas efluen air limbah. Elektrokoagulasi digunakan untuk mengolah efluen dari beberapa air limbah yang berasal dari industri makanan, limbah tekstil, limbah rumah tangga, limbah yang mengandung senyawa arsenik, air yang mengandung fluorida, dan air yang mengandung partikel yang sangat halus, bentonit dan kaolit.

Elektrokoagulasi mampu mengolah berbagai polutan termasuk padatan tersuspensi, logam berat, tinta, bahan organik (seperti limbah domestik), minyak dan lemak, ion, dan radionuklida. Karakteristik polutan mempengaruhi mekanisme pengolahan, misalnya polutan berbentuk ion akan diturunkan melalui proses presipitasi, sedangkan padatan tersuspensi yang bermuatan akan diabsorpsi ke koagulan yang bermuatan (Nouri, 2010).

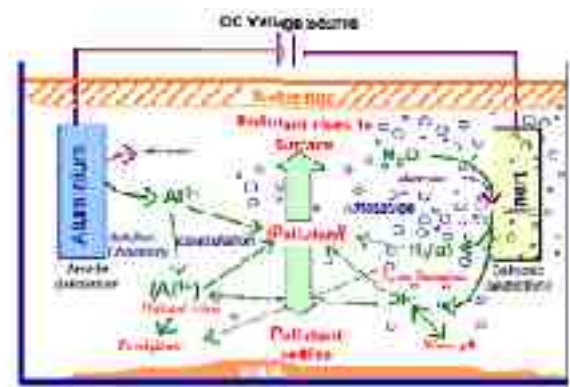
2.4.2 Proses Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi dikenal juga sebagai elektrolisis gelombang pendek. Elektrokoagulasi merupakan suatu proses yang melewatkan arus listrik ke dalam air. Proses ini dapat mengurangi lebih dari 99% kation logam berat. Pada dasarnya sebuah elektroda logam akan teroksidasi dari logam M menjadi kation. Selanjutnya air akan menjadi gas hidrogen dan juga ion hidroksil (OH).

Adapun prinsip kerja dari sistem ini adalah dengan menggunakan dua buah lempeng elektroda (biasanya aluminium atau besi) yang dimasukkan ke dalam bejana yang telah diisi dengan limbah yang akan dijernihkan. Selanjutnya kedua elektroda dialiri arus listrik searah sehingga terjadilah proses elektrokimia yang menyebabkan kation bergerak menuju katoda dan anion bergerak menuju anoda. Pada akhirnya akan terbentuk suatu flokulan yang akan mengikat kontaminan maupun partikel-partikel dari air baku tersebut ke lapisan *floc-foam* pada permukaan cairan.

Interaksi-interaksi yang terjadi dalam larutan yaitu:

- Perpindahan menuju muatan elektroda yang berlawanan dan netralisasi muatan
- Kation ataupun ion hidroksil membentuk sebuah endapan dengan pengotor
- Interaksi kation logam dengan OH membentuk sebuah hidroksida dengan sifat adsorpsi yang tinggi selanjutnya berikatan dengan polutan (*bridge coagulation*)
- Senyawa hidroksida yang terbentuk membentuk gumpalan (flok) yang lebih besar
- Gas hidrogen membantu flotasi dengan membawa polutan ke lapisan *bulk* flok di permukaan cairan (Holt, 2012).



Sumber: Holt, 2012

Gambar 2. Interaksi dalam proses elektrokoagulasi sistem *batch*

2.4.3 Plat Elektroda

Pada dasarnya, proses elektrokoagulasi merupakan penguraian elektrolit oleh arus listrik searah dengan menggunakan dua jenis elektroda. Dalam prakteknya, katoda akan menghasilkan ion hidrogen yang mengangkat berbagai flokulan yang terbentuk pada saat proses elektrokoagulasi berlangsung, sehingga setelah proses elektrokoagulasi selesai, maka akan terlihat bercak-bercak putih yang terdapat pada katoda tanda dari keluarnya ion hidrogen pada bagian tersebut.

Berbeda dengan katoda maka pada proses elektrolisis maupun elektrokoagulasi, anoda berperan sebagai kutub negatif. Pada anoda akan terjadi

reaksi oksidasi, yaitu anion ditarik oleh anoda dan jumlah elektronnya akan berkurang sehingga oksidasinya bertambah. Maka hal inilah yang menyebabkan bahwa pada saat proses elektrokoagulasi berlangsung, flokulan-flokulan yang terbentuk akan banyak menempel pada anoda sebagai agen koagulan (Bazrafshan, 2012).

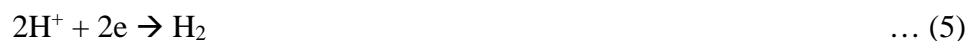
2.4.4 Reaksi pada Elektrokoagulasi

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, terdapat dua macam reaksi pada saat proses elektrokoagulasi berlangsung, yaitu reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi pada plat yang berbeda, maka berikut ini penjelasan mengenai kedua reaksi tersebut yang terjadi pada anoda maupun katoda.

1. Reaksi pada Katoda

Pada katoda akan terjadi reaksi-reaksi reduksi terhadap kation, yang termasuk dalam kation ini adalah ion H^+ dan ion ion logam.

- a. Ion H^+ dari suatu asam akan direduksi menjadi gas hidrogen yang akan bebas sebagai gelembung-gelembung gas.



- b. Jika larutan mengandung ion-ion logam alkali, alkali tanah, maka ion-ion ini tidak dapat direduksi dari larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen (H_2) pada katoda.



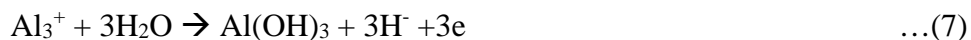
Dari daftar E^0 (deret potensial logam/deret volta), maka akan diketahui bahwa reduksi terhadap air limbah lebih mudah berlangsung dari pada reduksi terhadap pelarutnya (air).

K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Zn, Cr, Fe, Cd, Co, Ni, Sn, Pb, Sb, Bi, Cu, Hg, Ag, Pt, Au.

- c. Jika larutan mengandung ion-ion logam lain, maka ion-ion logam akan direduksi menjadi logamnya dan terdapat pada batang katoda.

2. Reaksi pada Anoda

- a. Anoda yang digunakan adalah logam aluminium akan teroksidasi:



- b. Ion OH^- dari basa akan mengalami oksidasi membentuk gas oksigen (O_2):



- c. Anion-anion lain (SO_4^{2-} , SO_3^{2-}) tidak dapat dioksidasi dari larutan, yang akan mengalami oksidasi adalah pelarutnya (H_2O) membentuk gas oksigen (O_2) pada anoda:



Dari reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses elektrokoagulasi, maka pada katoda akan dihasilkan gas hidrogen dan reaksi ion logamnya, sedangkan pada anoda akan dihasilkan gas halogen dan pengendapan flok-flok yang terbentuk.

Proses elektrokoagulasi dilakukan pada bejana elektrolisis yang di dalamnya terdapat katoda dan anoda sebagai penghantar arus listrik searah yang disebut elektroda, yang tercelup dalam larutan limbah sebagai elektrolit. Pada proses elektrokoagulasi ini menghasilkan gas yang berupa gelembung-gelembung gas, sehingga kotoran-kotoran yang ada di dalam air akan terangkat ke atas permukaan air. Flok-flok yang terbentuk ternyata mempunyai ukuran yang relatif kecil, akan tetapi lama kelamaan ukurannya akan bertambah besar. Apabila air telah mengalami elektrokoagulasi, kemudian dilakukan proses pengendapan, yaitu berfungsi untuk mengendapkan partikel-partikel atau flok yang terbentuk tadi. Setelah flok-flok yang terbentuk mengendap di dasar tabung, air limbah yang terdapat diatas flok yang mengendap dialirkan menuju membran yang akan menyaring air limbah tersebut, kemudian efluen yang dihasilkan akan dianalisis di laboratorium.

2.4.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Elektrokoagulasi

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses elektrokoagulasi antara lain:

- a. Kerapatan Arus Listrik

Kenaikan kerapatan arus akan mempercepat ion bermuatan membentuk flok. Jumlah arus listrik yang mengalir berbanding lurus dengan bahan yang dihasilkan selama proses.

b. Waktu

Menurut hukum Faraday, jumlah muatan yang mengalir selama proses elektrolisis sebanding dengan jumlah waktu kontak yang digunakan.

c. Tegangan

Karena arus listrik yang menghasilkan perubahan kimia mengalir melalui medium (logam atau elektrolit) disebabkan adanya beda potensial, karena tahanan listrik pada medium lebih besar dari logam, maka yang perlu diperhatikan adalah mediumnya dan batas antar logam dengan medium.

d. Kadar Keasaman (pH)

Karena pada proses elektrokoagulasi terjadi proses elektrolisis air yang menghasilkan gas hidrogen dan ion hidroksida, maka dengan semakin lama waktu kontak yang digunakan, maka semakin cepat juga pembentukan gas hidrogen dan ion hidroksida, apabila ion hidroksida yang dihasilkan lebih banyak maka akan menaikkan pH dalam larutan.

e. Ketebalan Plat

Semakin tebal plat elektroda yang digunakan, daya tarik elektrostatisnya dalam mereduksi dan mengoksidasi ion logam dalam larutan akan semakin besar.

f. Jarak antar Elektroda

Semakin besar jaraknya semakin besar hambatannya, sehingga semakin kecil arus yang mengalir.

2.4.6 Kelebihan dan Kekurangan Metode Elektrokoagulasi

Dalam penggunaan proses elektrokoagulasi harus diberikan gambaran tentang kelebihan dan kerugian dalam mengolah limbah cair (Kamilul, 2008). Adapun kelebihan dalam proses elektrokoagulasi yaitu:

1. Elektrokoagulasi membutuhkan peralatan yang sederhana dan mudah dioperasikan
2. Air limbah yang diolah dengan elektrokoagulasi menghasilkan *effluent* lebih jernih, tidak berwarna, dan tidak berbau
3. Flok yang terbentuk pada elektrokoagulasi memiliki kesamaan dengan flok yang berasal dari flokulasi kimia. Perbedaannya adalah flok dari

elektrokoagulasi berukuran lebih besar dengan kandungan air lebih sedikit, lebih stabil, dan mudah dipisahkan dengan filtrasi

4. Keuntungan dari elektrokoagulasi ini lebih cepat mereduksi kandungan koloid yang paling kecil, hal ini disebabkan menggunakan medan listrik dalam air sehingga mempercepat gerakan yang demikian rupa agar memudahkan proses koagulasi
5. Elektrokoagulasi menghasilkan *effluent* dengan kandungan *Total Dissolved Solid* (TDS) dalam jumlah yang lebih sedikit dibandingkan dengan koagulasi kimiawi. TDS yang rendah akan mengurangi biaya *recovery*
6. Elektrokoagulasi tidak memerlukan koagulan, sehingga tidak bermasalah dengan netralisasi
7. Gelembung gas yang dihasilkan dari proses elektrokoagulasi ini membawa polutan ke permukaan air sehingga mudah dibersihkan
8. Dapat memberikan efisiensi proses yang cukup tinggi untuk berbagai kondisi dikarenakan tidak dipengaruhi temperature
9. Pemeliharaan lebih mudah karena menggunakan sel elektrolisis yang tidak bergerak.

Kelemahan proses elektrokoagulasi ialah:

1. Tidak dapat digunakan untuk mengolah limbah cair yang mempunyai sifat elektrolit cukup tinggi karena akan terjadi hubungan singkat antar elektroda
2. Besarnya reduksi logam berat dalam limbah cair dipengaruhi oleh besar kecilnya arus voltase listrik searah pada elektroda, luas sempitnya bidang kontak elektroda dan jarak elektroda
3. Elektroda yang diganti dalam proses elektrokoagulasi harus diganti secara teratur
4. Terbentuknya lapisan di elektroda dapat mengurangi efisiensi pengolahan.

2.5 Logam Aluminium

Aluminium merupakan salah satu logam anorganik yang dijumpai dalam air minum. Konsentrasi aluminium yang tinggi bisa mengendap sebagai aluminium hidroksida yang mempengaruhi kehidupan air. Perannya tidak bisa dihindari

karena senyawa-senyawa aluminium ditambahkan bukan hanya ke air tetapi juga ke dalam makanan dan obat yang diproses. Aluminium merupakan unsur yang tidak berbahaya. Aluminium dan bentuk oksida aluminium bersifat tidak larut. Akan tetapi, garam-garam aluminium sangat mudah larut. Sumber aluminium adalah mineral aluminosilikat yang terdapat pada batuan dan tanah secara melimpah. Pada proses pelapukan batuan, aluminium berada dalam bentuk residu yang tidak larut, misalnya bauksit.

Aluminium banyak digunakan di pabrik kertas, *dyes*, penyamakan, dan percetakan. Aluminium yang berupa alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan limbah. Adapun aluminium juga merupakan salah satu elektroda yang dapat digunakan dalam proses elektrokoagulasi karena nilai konduktivitasnya yang cukup tinggi yaitu $12,22794 \times 10^{-6} \text{ S/cm}$, sehingga dianggap baik untuk menghantarkan muatan-muatan listrik dalam proses tersebut (Agung, 2012).

